我国土壤污染的区域差异与分区治理修复策略

骆永明* 滕 应

中国科学院南京土壤研究所 土壤环境与污染修复重点实验室 南京 210008

摘要 我国已实行分类、分级的土壤环境监管工作，但尚未融合分区治理修复策略。自然地球化学异常或人为污染物空间排放差异可使土壤环境污染具有区域性特征。实行区域土壤污染的分区治理符合土壤污染的客观性和人为性。文章在分析土壤污染的自然与人为成因基础上，提出了基于土壤污染区域差异性的分区治理修复策略。建议积极推进制定地方土壤污染防治法，允许地方制修订土壤环境质量标准，以及加强支持土壤污染的分区治理修复与安全利用的科技创新，包括加大区域土壤污染与修复基础研究和技术发展，区域土壤污染治理与修复技术示范先行区建设，区域土壤污染治理与修复科技创新能力建设，以及区域土壤污染治理与修复科技成果转化工作。文章还建议建立健全我国区域土壤环境质量综合监管与改善技术体系，构建土壤污染分区防治体系，支持区域土壤环境监管，确保区域土壤环境安全与可持续健康发展。

关键词 土壤污染，区域差异，区域土壤环境，土壤分区治理修复策略，中国

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.2018.02.003

土壤是人类赖以生存和国家文明建设的基础性自然资源。土壤圈是地球表层系统最为活跃的圈层，联接着大气圈、水圈、岩石圈和生物圈，具有显著的区域差异性[1]。近 30 年来，随着经济社会的快速发展，我国土壤污染越来越普遍，呈现区域化态势，威胁国家农产品安全、生态环境安全和人居环境安全[2,3]。因此，系统认识我国土壤污染区域化特征，探究区域土壤污染成因，实现分区治理修复策略，已成为必然。然而，事实上，目前在土壤污染监管上仅处于分类、分级状态，尚未形成分区治理概念与行动方案，这既不符合自然规律，又不利于区域土壤污染的有效防治。本文主要从区域土壤地球化学异常的客观性、区域土壤污染的人为性角度，分析了土壤污染分区治理的必要性，并提出分区治理的对策建议，为我国土壤污染有效、有力防治提供参考。

*通讯作者
资助项目：国家自然科学基金项目（41230858）
修改稿收到时间：2018年2月4日

1 土壤污染的区域性差异

1.1 土壤污染呈现区域化态势

2014年4月17日，国家环境保护部与国土资源部联合发布的《全国土壤污染状况调查公报》显示，全国土壤环境状况总体不容乐观，总的超标率为16.1%；其中，中度和重度污染点位比例分别为1.5%和1.1%。部分地区土壤污染较重，耕地土壤环境质量堪忧，工矿业废弃地土壤环境问题突出；镉、汞、砷、铅4种无机污染物含量分布呈现从西北到东南、从东北到西南方向逐渐升高的态势[4]。土壤镉污染呈现明显的区域化分布，主要分布在西南、华南地区，其中成都平原和珠江三角洲地区较为突出[5]。土壤汞污染主要分布在长江以南地区，其中东南沿海地区呈现沿海岸带的带状分布。土壤铬污染主要分布在云南、贵州、四川、西藏、海南和广西。土壤铅污染主要分布在珠江三角洲、闽东南地区和云贵地区，湖南、福建和广西也有较高的超标率。土壤多环芳烃污染主要分布在东北老工业基地、长江三角洲和华中地区，煤炭大省山西土壤多环芳烃污染超标率高达17.5%。可见，我国土壤污染呈现明显的区域化态势。

1.2 土壤污染的流域性态势凸显

江河沿岸的矿山开采冶炼及工业活动产生的污水、尾矿渣的排放以及矿渣和尾矿受雨水冲刷和大气传输物携带重金属进入河流而扩散污染，长期污水灌溉导致江河沿岸农田土壤重金属大量积累，呈现流域性污染。据江苏省1:250000多目标区域地球化学调查发现，在长江沿岸一带冲积土壤中镉富集趋势明显，在沿岸两侧冲积层土壤中形成了镉的高含量带。湖南湘江流域、资江流域、沅水流域和澧水流域土壤重金属污染最严重且超标重金属种类最多，超标率在5%以上的重金属元素包括镉、砷、钒、铅和汞等。广西刁江流域上游的南丹县铅锌矿废水排放，导致流域两岸大范围基本农田重金属含量超标。近期土壤污染调查表明，西北江流域（中山、珠海、顺德）是珠江三角洲地区的重污染流域，主要污染重金属为镍、镉、铜等。广东省地勘部门土壤调查结果显示，西江流域的大面积土地遭受重金属污染，其中汞的污染深度达到地下40厘米。流域污染物通过迁移在河口湿地富集，进而影响海岸带土壤及沉积物环境质量[6]，影响了近岸海域底栖生物生长及海产品的质量[7]。

1.3 高背景地区土壤重金属污染突出

我国西南地区（云南、贵州、四川等）土壤中镉、铅、锌、铜、砷等重金属背景值远高于全国土壤背景值。这主要是重金属含量高的岩石（石灰岩类）在风化成土过程中释放的重金属富集在土壤中之故。最突出的区域地球化学异常元素是镉，超标面积最大。当地土法炼锌等带来的含镉废水排放、废渣堆放以及镉含量高的磷肥施用等进一步增加耕地土壤重金属水平，这种叠加作用造成西南地区土壤重金属复合污染尤为突出。据2012年中科院南京土壤所的调查结果显示，贵州碳酸盐岩发育土壤中镉的平均含量为1.76 mg/kg，石灰土中镉异常富集，土壤镉含量超标率高达78.3%。除镉外，土壤中锌、铜、镍和铬含量异常也较明显，其超标比率分别为10.9%、21.7%、47.8%和13.0%。川西铅锌矿区和钒钛矿区为土壤重金属高背景区，耕地与非耕地土壤中铅、锌、镉、钛和砷等复合污染均相当严重。同时，采矿、洗选矿及公路运输过程中排放的重金属进入周边重金属高背景的农田土壤，也形成叠加污染，有的在高背景基础上增加了3—4倍。长期施用高含铅有机肥到农田，又使土壤中铅含量进一步提高，形成了土壤高背景-工业源-农业源重金属相叠加的污染状态。黔南地区一些土壤在重金属高背景的同时，土壤酸化使重金属溶出，造成迁移扩散污染。

2 区域土壤污染成因分析

土壤环境是一个系统，由土壤的内部环境、外部环境及其界面环境组成[8]。处于地球陆地表层的土壤环境系统不仅具有自然的特征，而且因深受人类活动的冲击而同时具有人为的烙印。土壤污染的成因有着多来源、多途径、多因素交织、成因复杂多变等特性。土壤污染

问题的产生是一系列不同因素包括自然和社会因素相互作用的结果。事实上，一个国家的经济社会发展水平决定了土壤环境问题产生的根源，并在很大程度上构成了土壤污染问题的直接驱动力。影响人类社会经济活动的各种要素包括制度、科技、文化价值观等，却构成了产生土壤污染问题的间接驱动力。因此，剖析土壤污染区域化态势的产生，关键在于分析其区域污染的来源，以及各种经济社会因素直接和间接作用的结果。通常情况下，经济增长对土壤环境的影响包括区域效应、规模效应、结构效应和技术效应；经济增长过程中产生了不同的污染源，大量污染物汇集于区域土壤环境中，一旦超过了土壤环境容量和自净能力，区域土壤污染问题便由之产生[2]。总体上，土壤区域污染成因可分为人为因素、自然因素及管理因素3个方面。

2.1 区域土壤污染的自然成因

土壤污染的自然成因，包括污染物的高背景值、森林火灾、高温下自然分配（持久性有机污染物纬度迁移）、外营力作用（如水文、风力等的迁移）及土壤中次生污染物质等。“七五”调查结果表明，镉、汞、砷、铅在全国分布上表现出明显的区域性特征。西南地区贵州、云南、广西等省市土壤背景值显著高于全国平均水平，主要源于喀斯特石灰岩地区的内源型母质和自然成土过程所形成的高背景值，加上矿产活动加剧，进而造成了该地区的土壤重金属污染，并向下游扩散，呈现出流域性和区域性特征。长三角、珠三角等经济发达地区跟踪调查结果显示：珠三角土壤中汞、镍污染最严重，其中高背景浓度的镍，可能与该地区母岩、母质中含有较高的重金属元素有关。土壤中多环芳烃的自然源主要是火山爆发、森林火灾和生物合成等自然因素所形成的污染特征。

2.2 区域土壤污染的人为成因

2.2.1 粗放式区域化经济发展模式中，大量资源和能源消耗排放物进入土壤

目前，我国工业产业发展主要依靠国内外市场扩张以及劳动力、土地、能源、原材料的消耗；同时大力推进供给侧改革，调整产业结构，实现产业转型发展，提升经济发展质量。区域产业结构变化对资源环境效应产生了积极的影响。由于不同的产品和行业有不同的污染强度，区域产业结构和产品结构不同会引起污染排放水平的差别。在三次产业中，第二产业相对于第一产业和第三产业而言，具有资源消耗高、污染排放量大的特点，一定程度上决定了资源消耗和污染排放是高强度的、密集的。因此，我国目前依然是以工业尤其是以重工业为主的产业结构，而工业行业又主要是从事原材料和能源的生产、加工和消耗的，这就不可避免地要产生大量的污染物，并进入区域土壤环境，尤其是20世纪80—90年代在经济发达地区，这一问题表现更为突出。

2.2.2 工业“三废”和交通废物的区域性排放污染物进入土壤

据环保部环境统计公报，2015年，我国工业固废产生量达32.71亿吨，废物排放量比较大的行业主要涉及煤炭和金属矿采选业等。2013年底，我国尾矿累积堆存量达146亿吨，废石堆存量达438亿吨。我国当前约有1.2万座尾矿库，其中危、险、病库占12.4%，有的矿山尾矿库容达千万立方米，对周围土壤和水环境污染严重。2014年全国废水排放总量716.2亿吨。其中，工业废水排放量205.3亿吨，城镇生活污水排放量510.3亿吨。废水中含有大量的铅、汞、镉、铬、砷等有毒有害元素。2015年，全国工业废气排放量68.5万亿立方米。全国废气中烟（粉）尘排放量1 538.0万吨，其中工业烟（粉）尘排放量为1 232.6万吨，占全国烟（粉）尘排放总量的80.1%。在一些经济快速发展地区，污染负荷更是居高不下。

我国经济快速发展地区，汽车保有量快速增长，交通废物排放带来的土壤污染问题不容乐观。含铅汽油、润滑油的燃烧，汽车轮胎、引擎、刹车里衬的机械磨损不仅排放铅、锌、铜、镉等重金属，同时汽车尾气中也含有苯

并[α]芘等有机污染物。机动车辆排放的污染物或直接沉积在路面灰尘中，或通过干湿沉降在公路两侧土壤中，从而导致城市公路两侧土壤中出现不同程度的污染物积累。

2.2.3 农用化学品大量使用和污水灌溉，使耕地土壤污染出现区域性差异

农用化学物质的高强度投入是造成耕地土壤大面积污染的重要原因。据统计，近年来我国化肥年施用总量约为 6 300 万吨，占世界总量的 22%；有 10 多个省的平均施用量超过了国际公认的上限（225 kg/hm^2），有的高达 400 kg/hm^2；常用的磷肥中含有一定数量的重金属元素，较为突出的是重金属元素镉。我国主要磷矿石镉含量为 0.1—571 mg/kg，大部分含量为 0.2—2.5 mg/kg，平均含量 15.3 mg/kg。长期施用高含镉的磷肥会导致土壤中的镉升高[9]。近 30 年来，我国通过磷肥施用带入到耕地土壤中的镉总量估计为 147—600 吨。单位施用量较大的地区主要集中在我国中东部的河南、湖北、福建等省份（磷肥施用量超过 120 kg/hm^2），而我国西部、西南、东北地区耕地磷肥施用量则明显低于中东部地区。但是西部、东北和偏远地区化肥施用量近年来有快速增加的态势，耕地土壤污染负荷也将快速增加。大量施用含重金属的磷肥和有机肥的地区，使区域土壤重金属污染风险日趋增大。

我国用污水灌溉农田的现象比较普遍，尤其是北方地区。从地域分布上，我国污水灌溉的农田主要集中在北方水资源严重短缺的海、辽、黄、淮四大流域，约占全国污水灌溉面积的 85%。据统计，我国 1999 年污水排放量达 401 亿立方米，污水灌溉面积从 1963 年的 4.2 万公顷发展到 1998 年的 361.8 万公顷，占全国灌溉总面积的 7.3%[10]。污水灌溉活动使大量污染物带入土壤中积累，如过去的沈阳张士灌区农田受到镉污染，严重污染面积占 13%。因此，农用物资用量及污水灌溉强度是造成农田土壤污染区域差异的重要因素。

2.2.4 区域地球化学异常及污染迁移扩散，使土壤区域化污染面积扩大

我国西南地区多种重金属的土壤背景值普遍较高。如贵州省“七五”背景调查点土壤母质层镉平均含量为 1.24 mg/kg，远高于 0.084 mg/kg 的全国平均水平。镉元素的高含量地区集中在贵州西南部、广西西北部、湖北大部、湖南与江西中部，上述地区土壤呈现大面积镉超标污染。其中，污染等级达到中度至重度的采样点主要集中在贵州境内的毕节、安顺、都均和兴义，广西境内的河池、百色、凭祥、柳州、合山和马山等地市；这些地区的土壤镉高背景与当地石灰岩成土母质有关。贵州省土壤汞的超标率在全国处于最高水平，达到 6.7%。云南、贵州、四川、湖南南部、广东、江西等地土壤铅、锌污染呈现明显的区域化分布，与这些地区广泛分布的有色金属矿（如镉、汞、铅、锌、砷、钒等）有关。例如，广西壮族自治区百色市分布着德宝铝矿与高龙金矿和河池市拥有环江铅锌矿区等，贵州万山、务川和铜仁等地广泛分布着汞矿带和汞矿田，广西、云南等省份广泛分布着雄黄矿，以及滇西兰坪、滇川、南岭等地分布着铅锌矿等。

随着有色金属矿藏开发规模的逐步扩大，重金属污染物通过污水、矿渣、尾矿、扬尘、地表径流进入土壤环境，不断累积或随江河水迁移扩散，导致沿岸土壤重金属的流域性污染。长期以来，我国对于矿藏开发的管理比较粗放，监管时有缺失，生产事故频发，矿区的点状污染演变成流域的线、面状污染，加之这些地区背景值往往较高，进一步加剧了土壤重金属污染。譬如，广西南丹、环江、恭城、贺州等地，砷储量极为丰富，为砷元素的高背景值地区。但由于不合理矿藏开发活动，使点状污染扩散，形成局域性污染，进而演化成流域性污染。地球化学高背景区通过土壤侵蚀、河流运输扩散也可形成重金属的流域性污染。例如，成都平原土壤重金属污染主要受地球化学异常和人为活动共同影响。四川龙门山构造带较为活跃，矿产资源丰富。其东南部为广阔平原，由于长期的风化、侵蚀和流水搬运，流水将龙门山地区的矿物搬运到冲积扇地区，并在地表沉积，呈重金属的地带性污染。江汉平原严重的镉污染也与洪

水搬运迁移扩散有关，其上游神农架、恩施属于磷灰石、闪锌矿等含镉丰富的石灰岩地区，自然风化过程将石灰岩和含磷底层及其伴生的镉带入长江，而石灰岩风化形成的碳酸岩屑在沉积物中形成碱性条件，将镉固定于沉积物中，形成长江高含镉的沉积物。洪水泛滥时，泥沙及河流沉积物随着洪水进入江汉平原，使江汉平原的土壤形成镉高值区。

2.3 区域土壤污染的管理因素

2.3.1 我国专门的土壤污染防治法律法规至今缺失

在我国现行的法律体系中，已经制定了防治大气污染、水污染和海洋污染等的法律，但是还没有正式颁布防治土壤污染的专门法律，也没有类似于美国《超级基金法》的专门清洁治理污染场地的法律或法规。已有的法律，如《环境保护法》《土地管理法》《水污染防治法》《大气污染防治法》和《固体废物污染环境防治法》等，对土壤重金属污染防治有一些零星规定，但分散而不系统、缺乏可操作性。我国目前正在制定《土壤污染防治法》，填补法律制度的空白，规定专门的、行之有效的防治与修复制度和措施[11]。土壤污染防治法的缺失是我国土壤污染严重并加剧、土壤环境质量难以改善的重要原因。

2.3.2 现行的土壤环境质量标准体系不完善

我国现行的 1995 年制定的国家《土壤环境质量标准》已不适合当前土壤环境管理的需求[12,13]。该标准主要适用于农业用地土壤评价，重金属污染物项目过少，尚未包括铊、锑、钒等新型污染物；部分重金属如镉、镍的质量标准要求过严，而铅的过松；简单地规定了全国统一值，忽视了我国土壤类型及其背景值的区域差异，以及土壤利用的多样化等特点。至今，适用于居住用地、工业建设项目用地的国家土壤环境质量标准缺失。所有这些都在很大程度上阻碍了土壤污染的过程监管、源头控制与末端修复。

2.3.3 土壤环境监管长期不力，执法力度不大

我国土壤污染的监管主体不明确，涉及的监管部门有环境保护部、国土资源部、农业部、水利部等。由于政府部门管理分散，以致出现监管的“灰色地带”，这一现象在《土壤污染防治行动计划》（简称“土十条”）落实过程中得到一定程度的解决。目前，我国土壤环境监管体系和制度不完备，尚未建立完善的土壤环境质量调查、监测制度以及土壤环境质量监测体系。虽然我国已建立起国家、省、市、县四级环境执法体系，环境执法能力和水平正在不断提高，但是从现实看，受各种因素制约，环境执法制度、机制、程序还不完善，执法能力相对薄弱，“环境执法难”在全国普遍存在。所有这些都影响了对污染物进入土壤环境的控制。

3 土壤污染分区治理修复策略

土壤是具有空间格局但又可变异的非均相、不流动的地球陆地表层生态系统，通常处于不同利用状态，显著异于可流动的大气和水体。土壤污染具有隐蔽性、长期性、危害性等特点，并正呈现出流域性、区域化特征。土壤一旦遭受污染，治理修复难度很大[1]。因而，不能以大气和水污染管控和修复的思路和标准规范来指导土壤污染的管控和修复。也因此，在面对现阶段和未来相当长一段时期显现的或潜在的土壤环境污染问题上，必须全面贯彻落实生态文明建设思想，尽快出台《土壤污染防治法》，健全国家及地方土壤环境质量标准，创新土壤环境科技，构建我国土壤污染分区防治体系，支持区域土壤环境监管，确保区域土壤环境安全。

3.1 积极推进制定地方土壤污染防治法

土壤污染防治立法工作是切实解决我国当前及长远土壤污染问题的前提和基础。我国第一部土壤污染防治领域的专门法律《中华人民共和国土壤污染防治法（草案二次审议稿）》，目前正在征求社会各界意见。建议同时加快地方立法进程，使我国区域土壤污染的预防、治理、控制及修复等工作有法可依，使土壤污染防治工作法制化。这有助于加强国家及地方对进入土壤的污水、废弃物、尾矿渣、肥料、农药和污泥等污染源的控制与使用管理，有

助于加强对耕地、工业用地、商业用地、矿区以及集中式饮用水源地等土壤环境的有效监管，有助于土壤污染防治工作落实到各级政府政绩考核工作中。

3.2 允许地方制修订土壤环境质量标准

我国现行的土壤环境质量标准已不适应当前土壤环境管理的需求，亟须制修订并尽快出台分区、分类、分等的土壤环境质量标准体系，允许地方客观制定区域土壤环境质量标准。建议针对土壤类型多样性，科学建立不同区域的土壤环境重金属质量标准；根据土壤性质、条件及利用方式的差异，建立自然土壤、农业土壤（包括农地、林地、草地、菜地和果园地）、工业建设用地土壤的重金属质量标准；针对地球化学异常的高背景区，制定基于生物有效性和环境风险的地方土壤环境质量标准；鉴于镉是我国土壤中最主要、涉及面最广的重金属污染元素，应在充分对比分析研究国际及地区有关标准的基础上，优先研究制定适合我国区域土壤环境与健康保障的镉质量标准体系；结合区域土壤金属元素背景值及危害途径，重新修订土壤环境铅、镍的质量标准，新建立铊、锑、钒等新型金属污染物的土壤环境质量标准。同时，结合技术和经济社会发展水平，建立污染土壤及场地的风险管控和治理修复等方法技术规范。

3.3 加强支持土壤污染的分区治理修复与安全利用的科技创新

（1）加大区域土壤污染与修复基础研究和技术发展。分区研究土壤污染形成机制、监测预警、风险管控、治理修复、安全利用等技术、材料和装备，形成区域土壤污染防控与绿色可持续修复系统解决技术方案与产业化模式，开展典型区规模化示范应用，实现经济社会、生态环境、安全健康等综合效益。重点研究不同生物气候带土壤中污染物的环境地球化学行为及效应[14]；地球化学异常区及高背景区、矿区及油田区、污灌区、高化学品投放区等不同区域土壤污染特征和质量演变规律；区域土壤污染过程、多界面反应机理。在经济快速发展区、粮食主产区、矿区及油田区进行土壤污染控制与修复技术集成与示范；开展城市场地土壤及含水层污染协同控制与联合修复技术集成研究与工程示范，形成可复制、可推广的科学创新及技术推广的体制与机制。

（2）加强土壤污染治理与修复技术示范先行区建设。根据国家“土十条”的总体工作部署，尽快构建“产学研用”协同创新联盟，充分发挥地方政府的实施主体作用，因地制宜地提出不同区域土壤污染治理与修复技术系统性集成方案，分区建设一批国家级的污染农田土壤和工矿企业场地综合治理技术集成与示范区[15]，为国家土壤环境综合治理提供科技支撑和宣教基地。

（3）加强区域土壤污染治理与修复科技创新能力建设。继续完善与土壤相关的生态环境国家科技创新能力建设，重点支持农田土壤污染防控与修复技术、污染场地安全修复技术等国家工程实验室，以及省部共建国家重点实验室、产学研工程中心等科技平台建设，分区推动国家土壤环境保护技术创新中心建设，完善与土壤环境相关的国家野外科学观测研究台站建设，为土壤修复产品本土化创造应用条件。

（4）加快区域土壤污染治理与修复科技成果转化工作。发挥国家可持续发展示范区、国家生态文明先行示范区、国家农业科技园区、国家高新技术产业开发区等载体作用，构建区域土壤污染治理与修复科技成果转移转化机制，建立国家及地方土壤污染治理与修复科技成果转化平台，鼓励企业加大重大集成技术与设备的研发投入，加快区域土壤治理修复技术、产品与装备的产业化和工程化，推动土壤环保产业的快速发展，支持供给侧结构性改革。

综上，土壤污染关系到区域可持续发展、国民健康和生态文明建设。我国的土壤污染防治修复工作，应以科学发展观统筹人与自然和谐发展、经济与环境协调发展为指导思想，以全面落实“土十条”为主要工作目标，以区域性、流域性土壤污染综合防治、工矿污染场地风险控制修复和土壤环境质量管理为重点，严控新增污染；进一步探明区域土壤污染成因，提出分区防治新对策，建立健全区域土壤环境质量综合监管与改善技术

新体系，以维护我国土壤资源永续利用，保障生态安全，保护国民健康和实现区域经济社会可持续发展。

参考文献

1 赵其国, 骆永明. 论我国土壤保护宏观战略. 中国科学院院刊, 2015, 30(Z1): 21-27.

2 骆永明, 滕应. 我国土壤污染退化状况及防治对策. 土壤, 2006, 38(5): 505-508.

3 中国科学院. 东南沿海发达地区环境质量演变与可持续发展. 北京: 科学出版社, 2014.

4 庄国泰. 我国土壤污染现状及防控策略. 中国科学院院刊, 2015, 30(Z1): 46-52.

5 郭书海, 吴波, 李宝林, 等. 中国土壤环境质量区划方案. 环境科学学报, 2017, 37(8): 3127-3138.

6 Weng N Y, Wang W X. Variations of trace metals in two estuarine environments with contrasting pollution histories. Science of the Total Environment, 2014, 485-486: 604-614.

7 Tan Q G, Wang Y, Wang W X. Speciation of Cu and Zn in two colored oyster species determined by X-ray absorption spectroscopy. Environmental Science & Technology, 2015, 49(11): 6919-6925.

8 骆永明. 土壤环境与生态安全. 北京: 科学出版社, 2009.

9 林忠辉, 陈同斌. 磷肥杂质对土壤生态环境的影响. 生态农业研究, 2000, 8(2): 47-50.

10 刘润堂, 许建中. 我国污水灌溉现状、问题及其对策. 中国水利, 2002, (10): 123-125.

11 李干杰. 推进土壤污染防治立法 奠定生态环境安全基石. 中国科学院院刊, 2015, 30(Z1): 14-20.

12 骆永明, 夏家淇, 章海波, 等. 中国土壤环境质量基准与标准制定的理论和方法. 北京: 科学出版社, 2015.

13 王国庆, 林玉锁. 土壤环境标准值及制订研究：服务于管理需求的土壤环境标准值框架体系. 生态与农村环境学报, 2014, 30(5): 552-562.

14 骆永明, 章海波, 涂晨, 等. 中国土壤环境与污染修复发展现状与展望. 中国科学院院刊, 2015, 30(Z1): 115-124.

15 周桔, 周建军. 关于建设土壤重金属污染综合治理示范区的思考. 中国科学院院刊, 2015, 30(Z1): 61-66.

Regional Difference in Soil Pollution and Strategy of Soil Zonal Governance and Remediation in China

LUO Yongming* TENG Ying

(Key Laboratory of Soil Environment and Pollution Remediation, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

Abstract Classification and gradation have been put into practice in soil environmental monitoring and management in China, but not yet integrated soil zonal governance and remediation strategy. Natural geochemical anomaly or spatially different man-made pollutant discharge enables the regional characteristics of the soil environmental pollution. Implementation of zonal governance and remediation of regional soil pollution are accord with the natural and/or man-made causes of soil pollution. Based on the analysis of soil pollution sources and causes, this study puts forward the zoning governance and remediation strategy based on regional differences in soil pollution in China. The following suggestions are proposed: to actively promote the formulation of local soil pollution prevention law, to allow the establishment of local soil environmental quality standard system, and to strengthen scientific and technological innovation for supporting partition monitoring and

*Corresponding author

remediation and safe use of polluted soil, including an increasing input for basic research and technology development, applied technology demonstration area construction, technology innovation ability construction, and the transformation of scientific and technological achievements in regional soil pollution control and remediation. It is also suggested to establish a national-wide comprehensive and sound system for regional soil environment quality management and remediation technology, build up a zonal soil pollution prevention and control system, support regional soil environmental governance, and ensure a safe, sustainable, and healthy development in regional soil environment in China.

Keywords soil pollution, regional difference, regional soil environment, zonal soil governance and remediation strategy, China



骆永明 博士，中国科学院南京土壤研究所研究员，中国科学院大学核心岗位教授。主要从事土壤污染与修复、海岸带生物地球化学与风险管理研究。为中国科学院“百人计划”、国家杰出青年科学基金获得者，中组部首批“万人计划”入选者；科技部第四届“973”计划资源环境领域咨询组成员、“‘十三五’场地土壤污染成因与治理技术”重点研发计划召集人。中国土壤学会常务理事、土壤修复专业委员会学术顾问等；国际植物技术学会副主席。曾为科技部“973”计划项目首席科学家、“863”计划重大项目首席科学家。获省部级科学技术奖一、二等奖项。被授予中国土壤学会奖、中国科学院优秀教师奖等称号。 E-mail: ymluo@yic.ac.cn

LUO Yongming Ph.D., Researcher of Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences (CAS) and Professor of the University of Chinese Academy of Sciences. His research fields mainly focus on soil pollution and remediation, and the coastal biogeochemistry and environmental risk. He was awarded the “100 Talent Program of CAS” (1997), the “National Science Fund for Distinguished Young Scholars” by NSFC (2001), and the first finalist of National “Ten Thousand Talent Program” by Organization Department of CPC Central Committee. He is the expert group member (the 4th session) of the National Key Basic Research Program (“973” Program) by Ministry of Science and Technology (MOST) in the field of Resource and Environment, and the coordinator of a National Key Research and Development Program of China: “Site Soil Pollution Formation and Treatment Technology (2018-2022)”. He has served as an executive member of the Soil Science Society of China (SSSC) since 2012, the academic consultant of the Soil Remediation Committee, SSSC since 2014, and vice president of the International Phytotechnology Society since 2017. He also served as the chief scientist of the “973” Program (2002–2008) and the chief scientist of the “863” Major Program (2012–2017). He achieved the second prize of the Science and Technology Award of Jiangsu Province and the first prize of the 9th and 11th Science and Technology Award of SSSC (2014 and 2016). He was also awarded the Award of SSSC in 2012 and the Award of Excellent Teacher by CAS (2006 and 2016). E-mail: ymluo@yic.ac.cn